جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره هفدهم، بهار ۱۳۹۵

صص ۲۰-۱

پهنه‌بندی و بررسی اثرات مورفولوژیکی سیلاب‌های رودخانه زرینه‌رود (از ساری‌قمیش تا سد نوروزلو)

محمدحسین رضائی مقدم[۱] – استاد ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

معصومه رجبی – استاد ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

رسول دانشفراز– دانشیار عمران دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

منصور خیری زاده – دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۹/۲۹   تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱/۱٦

چکیده

سیلاب‌ها از فراوان‌ترین و مخرب‌ترین بلایای طبیعی به شمار می‌روند. در این ارتباط پهنه‌بندی دشت سیلابی و کاربرد آن در برنامه‌ریزی آمایش فضا، ازجملـه اقـدامات مهـم غیرسـازه‌ای در زمینه کاهش خسارات سیلاب محسوب می‌شود. این پژوهش سعی دارد به بررسی خطر وقـوع سیل در دشت سیلابی رودخانه زرینه‌رود بـا اسـتفاده از مـدل هیـدرودینامیکی HEC-RAS و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بپردازد. همچنین، از توان رودخانه به‌عنوان شاخصی جهت بررسی اثرات مورفولوژیکی بالقوه سیلاب‌ها اسـتفاده شـده اسـت. داده‌هـای پایـه بـرای مـدل HEC-RAS شامل داده‌های فضایی و داده‌های جریان رودخانه می‌باشند. مهـم‌تـرین داده‌هـای فضایی پژوهش از طریق تهیه DEM (بـا قـدرت تفکیـک ۱ متـر) و TIN از روی نقشـه‌هـای توپوگرافی مقیاس ۱:۲۰۰۰ حاصل شد. متغیرهای جریان، از طریق تحلیل داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری موجود بر روی مجرای اصلی و انشعابات آن به دست آمد. به‌منظور پیش‌پـردازش داده‌های فضایی و پس‌پردازش نتایج حاصل از مدل HEC-RAS از الحاقی HEC-GeoRAS استفاده گردید. جهت بررسی اثرات ژئومورفیکی سیلاب‌ها، مجرای رودخانه با توجه بـه دانـه-بندی مواد بستر و الگوی رودخانه به دو بازه تقسیم‌بندی شـد. در بـازه اول (از ابتـدا تـا شـهر محمودآباد)، به دلیل کم‌عرض بودن دشت سیلابی، پهنه‌های سیل‌گیر محدود می‌باشند. در ایـن بازه، توان رودخانه در طی سیلاب‌ها زیاد است؛ اما مقاومت مواد بستر و کناره‌ها، مانع عمده‌ای در خصوص فرسایش کناره و کف‌کنی رودخانه محسوب می‌شوند. در بازه دوم (از محمودآباد تا بالادست سد نوروزلو)، عرض پهنه‌های سیل‌گیر افزایش می‌یابد. تـوان رودخانـه، نسـبت بـه بازه اول پایین‌تر است؛ اما به دلیل نوع رسوبات بستر مجرا (ماسه تا گراول) و فرسایش‌پـذیری

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱٤٤۱٤۲۱۹۰   Email: rezmogh@yahoo.com

زیاد مواد کناره‌ها، تغییرات مورفولوژیکی مجرا نیز زیاد می‌باشد و سیلاب‌ها، منجر به فرسایش‌های شدید، مهاجرت مئاندرها، ایجاد میان‌بُرها و همچنین نهشته‌گذاری به صورت پشته‌های نقطه‌ای در داخل و کناره‌های مجرا می‌شوند. نتایج، همچنین نشان می‌دهد که سیلاب‌های با دوره‌های بازگشت مختلف، خطر چندانی برای سکونت‌گاه‌های شهری و روستایی ایجاد نمی‌کنند؛ اما می‌توانند خسارات زیادی به اراضی کشاورزی وارد سازند. با توجه به ژئومورفولوژی منطقه و عرض پهنه‌های سیل‌گیر، سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله، می‌تواند مبنای برنامه‌ریزی‌های آمایش دشت سیلابی باشد.

کلیدواژه‌ها: سیلاب، هیدرودینامیک، اثرات مورفولوژیک، مدل HEC-RAS، زرینه‌رود.

۱. مقدمه

سیلاب‌ها جزء لاینفک دینامیک مجرای رودخانه‌ها می‌باشند (وول[1]، ۲۰۰۳: ۳). فرایندهای طبیعی رودخانه‌ای تنها زمانی می‌توانند باعث بلایایی شوند که انسان‌ها، خود را در معرض خطر قرار دهند. به دلایل مختلفی ازجمله دسترسی به زمین ارزان، خاک حاصلخیز یا چشم‌انداز زیبا، دشت‌های سیلابی جهت سکونت انتخاب شده‌اند. ازاین‌رو، با توسعه بیشتر دشت‌های سیلابی، تلفات و هزینه‌های مربوط به سیلاب‌ها نیز زیادتر می‌شوند (هیندمن و هیندمن[2]، ۲۰۰۹: ۳۳٤). می‌توان گفت که سیلاب‌ها از لحاظ بزرگی و اثرات انسانی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی محسوب می‌شوند. به‌طوری‌که، در مقایسه با سایر انواع بلایای طبیعی، حدود ۲۰–٤۰ درصد از رخدادهای گزارش شده را شامل می‌شوند (سن[3]، ۲۰۰۸: ۸). سیلاب‌ها، ایجادکننده مخاطرات ژئومورفیکی از طریق تغییرات در شکل مجرا و انتقال رسوب می‌باشند. تحلیل اثر سیلاب‌ها بر روی مورفولوژی مجرا و انتقال رسوب، یکی از توجهات اصلی ژئومورفولوژی رودخانه‌ای بوده است. سیلاب، ممکن است باعث تغییرات چشمگیر در طول برخی بازه‌های مجرا شود و برعکس، اثرات نسبتاً اندکی بر سایر بازه‌ها داشته باشد (وول، ۲۰۰۰: ۱٦۷).

بررسی‌ها و مطالعات نشان داده است که علت افزایش خسارات سیلاب در دنیا، افزایش تکرار و یا بزرگی طغیان‌ها نبوده، بلکه استفاده گسترده از اراضی دشت‌های سیلابی مهم‌ترین نقش را داشته است. لذا تدوین برنامه‌ای جامع با هدف مهار و کنترل و بهره‌برداری بهینه با اعمال اقدامات مدیریتی متناسب با کلیه عوامل دخیل در ایجاد سیلاب‌های منطقه‌ای ضرورت می‌یابد (رضوی، ۱۳۸۷: ۹۰). وقوع سیلاب پدیده‌ای اجتناب‌ناپذیر است و با اینکه نمی‌توان جلوی رخداد آن را گرفت، اما با اقداماتی می‌توان خسارات ناشی از

1 Wohl
2 Hyndman and Hyndman
3 Sene

آن را به حداقل رساند (پروور‌بز و سوتانتو[1]، ۲۰۰٤: ۹). در این زمینه، کنترل کاربری اراضی، پهنه‌بندی و برنامه‌ریزی، عوامل مهمی محسوب می‌شوند (کمیته تحلیل ریسک پایه کاهش خسارت سیل[2]، ۲۰۰۰: ۳۱). پهنه‌بندی، جهت مشخص شدن میزان خطرپذیری نسبت به سیلاب، شناسایی نواحی برای بیمه سیل و ایجاد محدودیت‌های اجباری کاربری در مناطق خطرپذیر می‌باشد (ولیزاده، ۱۳۸٦: ۱٦۹– ۱۵۳)؛ بنابراین، هدف مدیریت دشت سیلابی، به حداکثر رساندن منفعت اجتماعی است؛ این امر منجر به اتخاذ استراتژی‌هایی می‌شود که میزان دسترسی به زمین‌های مصون از سیلاب، احتمال و بزرگی سیلاب‌های بالقوه، دسترسی به بیمه، و هزینه‌های سازه‌های کاهش خسارات سیلاب را مورد بررسی قرار می‌دهد (کمیته تحلیل ریسک پایه کاهش خسارت سیل، ۲۰۰۰: ۳۰).

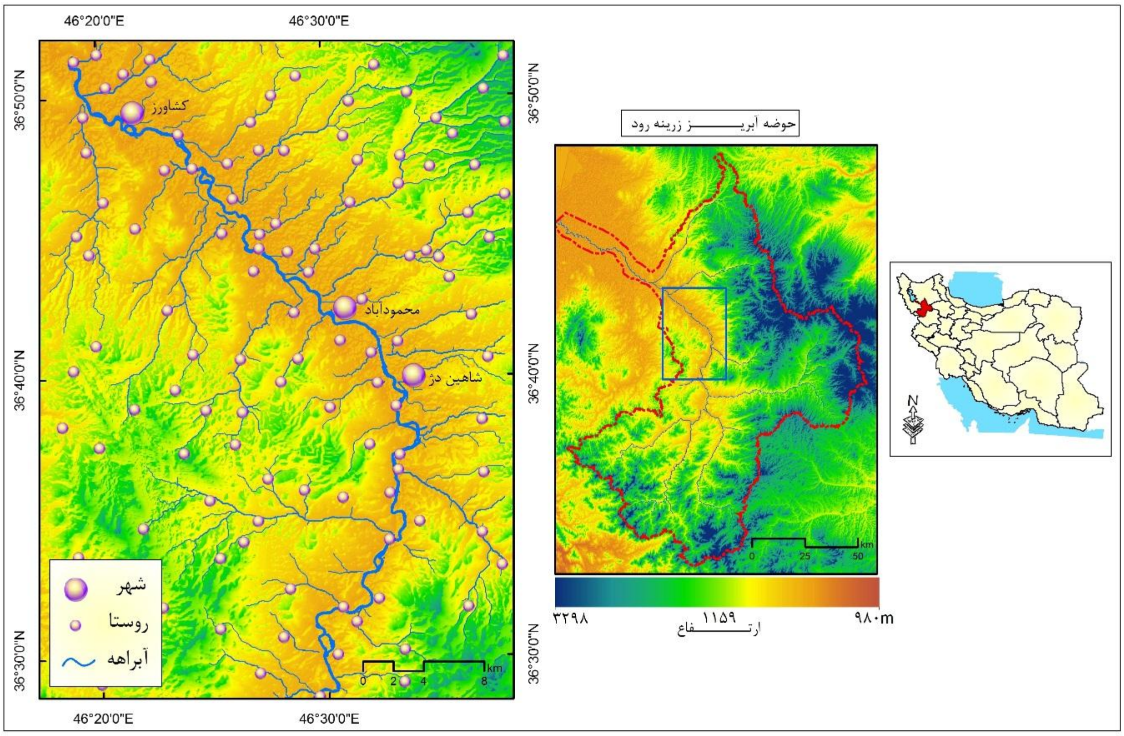
به‌منظور پهنه‌بندی دشت سیلابی، مدل‌های یک‌بعدی به صورت سنتی مورد استفاده قرارگرفته و هنوز هم به‌طورمعمول به کار گرفته می‌شوند (به‌عنوان‌مثال: یمانی و همکاران، ۱۳۹۱؛ قمی اویلی و همکاران، ۱۳۸۹؛ غفاری و امینی، ۱۳۸۹؛ پاترو[3] و همکاران، ۲۰۰۹؛ انوسلول گول[4] و همکاران، ۲۰۱۰؛ ماچادو و احمد[5]، ۲۰۰۷؛ نبل[6] و همکاران، ۲۰۰۵؛ یانگ[7] و همکاران، ۲۰۰٦). تنظیم این مدل‌ها آسان بوده و محاسبات، سریع صورت می‌گیرند (مرواد[8]، ۲۰۰٤: ۳۰). در این رابطه، HEC-RAS یک مدل هیدرولیکی است که توسط مرکز مهندسی هیدرولوژیک[9] (HEC) بخش مهندسی ارتش ایالات‌متحده آمریکا توسعه یافته است (تیت[10]، ۱۹۹۹: ۲۳). سیستم HEC-RAS شامل چهار مؤلفه تحلیل یک‌بعدی رودخانه است، به‌منظور: (۱) محاسبات پروفیل سطح آب جریان ماندگار؛ (۲) شبیه‌سازی جریان غیرماندگار؛ (۳) محاسبات انتقال رسوب مرزی متحرک؛ و (٤) تحلیل کیفیت آب (مرکز مهندسی هیدرولوژیک[11]، ۲۰۱۰، فصل۱: ۲). نتایج مدل، مخصوصاً در مدیریت دشت سیلابی و مطالعات بیمه سیل، به‌منظور ارزیابی اثرات تجاوز به مسیر سیلاب، مورد استفاده قرار می‌گیرند (تیت، ۱۹۹۹: ۲٤). در این تحقیق، خطر وقوع سیلاب و مهم‌ترین اثرات ژئومورفولوژیکی آن در طول بازه‌ای از رودخانه زرینه‌رود (از روستای ساری‌قمیش تا بالادست سد نوروزلو) مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲. منطقه مورد مطالعه

---

1 Proverbs and Soetanto
2 Committee on Risk-Based Analysis for Flood Damage Reduction
3 Patro
4 Onusluel Gul
5 Machado & Ahmad
6 Knebl
7 Yang
8 Merwade
9 Hydrologic Engineering Center
10 Tate
11 HEC (Hydrologic Engineering Center)

رودخانه زرینه‌رود (جئغاتی چای)، مهم‌ترین و پرآب‌ترین رود حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. به‌طوری‌که، حدود ٤٨ درصد آب این دریاچه را تأمین می‌کند. این رودخانه، با طول بیش از ۲۰۰ کیلومتر، دارای حوضه آبریز گسترده‌ای است و بیش از ۱۱۷۸۸ کیلومترمربع از زمین‌های استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و کردستان را زهکشی می‌کند. رودخانه زرینه‌رود پس از عبور از کنار شهرهای شاهین‌دژ، محمودآباد، کشاورز و میاندوآب، از سمت جنوب شرقی وارد دریاچه ارومیه می‌شود. مهم‌ترین انشعابات این رودخانه شامل ساروق‌چای، سقزچای، جیغاتوچای و خرخره‌چای می‌باشند. در بازه مورد مطالعه (شکل ۱)، مهم‌ترین انشعاب، رودخانه فصلی اجرلوچای است که مخروط‌افکنه‌ای را نیز در محل پیوستن به رودخانه زرینه‌رود ایجاد کرده است.



شکل ۱ موقعیت حوضه آبریز زرینه‌رود (جئغاتی‌چای) به همراه بازه مورد مطالعه در شمال‌غرب کشور

۳. مواد و روش‌ها

نقشه‌های توپوگرافی به مقیاس ۱:۲۰۰۰ سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی، اساسی‌ترین داده‌های فضایی تحقیق حاضر محسوب می‌شوند که برای بازه مورد مطالعه از رودخانه زرینه‌رود، جمعاً ۹۳ برگه می‌باشد. هرگونه مدل‌سازی مناسب سیلاب، نیازمند نمایش مناسب ویژگی‌ها و هندسه کانال و دشت سیلابی است. در این زمینه، الحاقی HEC-GeoRAS، مجموعه‌ای از ابزارها را در محیط ArcGIS فراهم

می‌سازد که برای پیش‌پردازش و آماده کردن داده‌های ورودی فضایی و هندسی مدل HEC-RAS و همچنین جهت پردازش خروجی‌های آن، به همین ترتیب، آماده کردن نقشه‌های سیلاب براساس محاسبات پروفیل سطح آب، مورد استفاده قرار می‌گیرد (کامرون و اکرمن[۱]، ۲۰۱۲، فصل۳: ۱). داده‌های جریان برای HEC-RAS شامل رژیم جریان، دبی، شرایط اولیه و شرایط مرزی می‌باشند. رژیم جریان به صورت زیربحرانی، فوق بحرانی، یا مختلط مشخص می‌شود. اطلاعات دبی شامل حداقل، یک مقدار جریان در طول هر بازه در شماتیک سیستم رودخانه می‌باشد. شرایط اولیه و مرزی، برحسب ترازهای سطح آب اولیه در بالادست و پایین دست، هیدروگراف جریان، یا منحنی سنجه دبی تعیین می‌شود (مرواد، ۲۰۰٤: ۲۹) (شکل ۲).

برای جریان ماندگار متغیر تدریجی[۲]، روش اصلی برای محاسبه پروفیل‌های سطح آب بین مقاطع عرضی، روش گام مستقیم[۳] نامیده می‌شود. روش اصلی محاسباتی، مبتنی بر حل تکرار شونده معادله انرژی است. با توجه به جریان و ارتفاع سطح آب در یک مقطع عرضی، هدف از روش گام استاندارد، محاسبه ارتفاع سطح آب در مقطع عرضی مجاور است. معادله انرژی (معادله برنولی[٤]) به صورت زیر بیان می‌شود (مرکز مهندسی هیدرولوژیک، ۲۰۱۰، فصل۲: ۲؛ دانشفراز و منازاده، ۱۳۹۱: ٦۳):

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

که در آن؛ Z_1,Z_2: تراز کف کانال اصلی؛ Y_1,Y_2: عمق آب در مقاطع عرضی؛ V_1,V_2: متوسط سرعت جریان (دبی کل تقسیم بر مساحت جریان کل)؛ a_1,a_2: ضرایب وزنی سرعت؛ g: شتاب ثقلی و h_e: افت هد انرژی می‌باشد. افت هد انرژی (h_e) بین دو مقطع عرضی، شامل افت‌های اصطکاک و افت‌های انقباض (تنگ‌شدگی) یا انبساط (بازشدگی) است (برای معادلات، مراجعه شود به: مرکز مهندسی هیدرولوژیک، فصل دوم: ۱۰-۲). در تحقیق حاضر، از داده‌های هیدرومتری ایستگاه ساری‌قمیش در بالادست بازه مورد مطالعه و از داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری قوره‌چای و جان‌آقا، موجود بر روی انشعابات قوره‌چای و اجرلوچای، برای محاسبات دوره‌های بازگشت و رابطه دبی-اشل استفاده شده است. همچنین، جهت تعیین توزیع ضریب اصطکاک مجرا و دشت سیلابی، نقشه پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Google Earth و مطالعات میدانی تهیه شد.

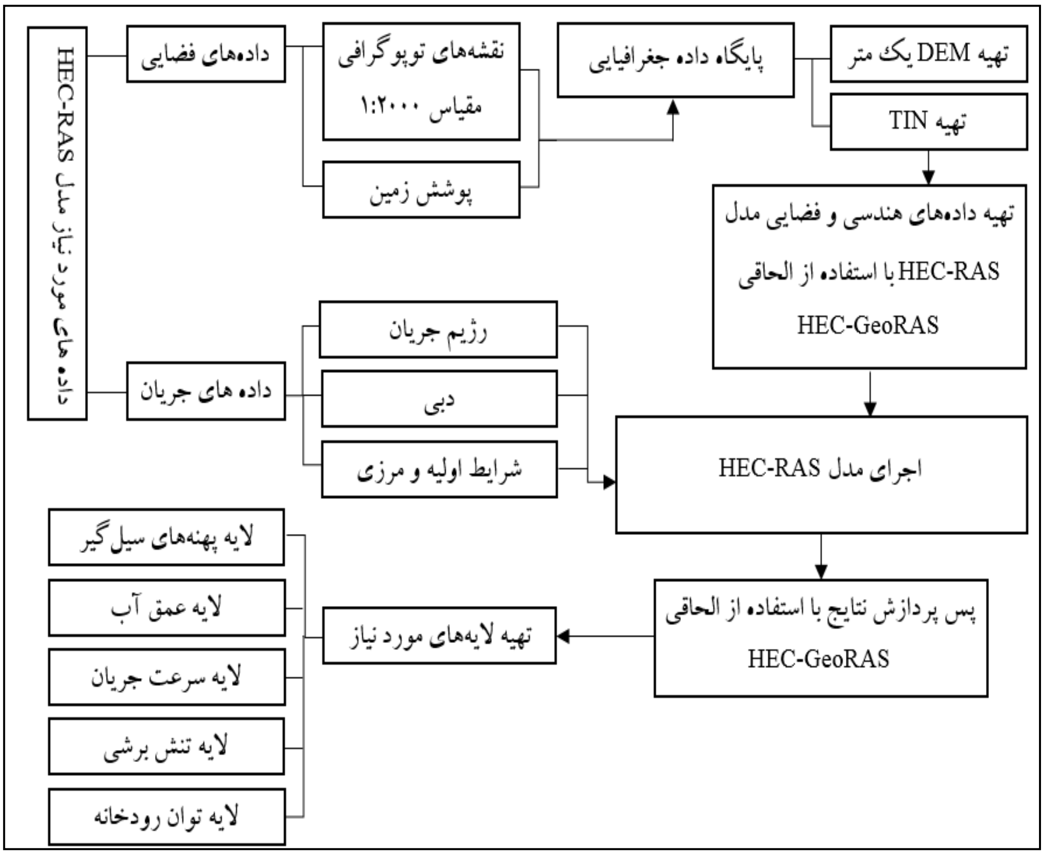
---

1 Cameron and Ackerman
2 Steady gradually varied flow
3 direct step method
4 Bernoulli

برای بررسی اثرات ژئومورفولوژیکی سیلاب‌ها، از توان رودخانه و پهنه‌های سیل‌گیر استفاده شد. توان رودخانه[۱]، به‌عنوان یک مفهوم ژئومورفولوژیکی، عبارت است از: مقدار انرژی موجود یک رودخانه برای حرکت یا جابجایی رسوب، سنگ یا مواد چوبی. برای یک مقطع عرضی، توان کل رودخانه در واحد طول کانال می‌تواند به صورت زیر بیان شود (سرویس حفاظت منابع طبیعی[۲]، ۲۰۰۸، فصل٦: ۹؛ بیکر[۳] و همکاران، ۲۰۰۹: ۲۹۰-۲۸۰؛ سونگ[٤] و همکاران، ۲۰۱٤: ۱٤٤-۱۳۳):

$$\Omega = \gamma Q S_f = \gamma v w d S_f \qquad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن: γ = وزن واحد (مخصوص) آب (lb/ft^3)؛ Q = دبی (ft^3/s)؛ S_f = شیب انرژی (ft/ft)؛ V = سرعت (ft/s)؛ W = عرض کانال (ft)؛ d = عمق هیدرولیک (ft).



شکل ۲ روند مدل‌سازی با استفاده از الحاقی HEC-GeoRAS و مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS

1 Stream power
2 Natural Resources Conservation Service
3 Baker
4 Song

۳. بحث و نتایج

ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی دشت سیلابی زرینه‌رود

اغلب گستره دشت سیلابی زرینه‌رود، در طی دوره یخچالی وورم، زیر آب‌های دریاچه ارومیه بوده است که پراکندگی تراس‌های دریاچه‌ای موجود در پناه تپه‌ماهورها و ناهمواری‌های مشرف به دشت‌های جنوب و جنوب‌شرق چاله اورمیه، مخصوصاً در اطراف شهرهای ملکان و باروق میاندوآب، گواه این مطلب است. از نظر ژئومورفولوژیکی، پراکندگی تراس‌ها (شکل۳)، پشته‌های پیچشی[1] حاصل از مهاجرت مئاندرها و کانال‌های متروک، ویژگی بارز دشت سیلابی رودخانه زرینه است. در نزدیکی مجرای فعال رودخانه، برخی از کانال‌های متروک به دلیل زهکشی رواناب‌های اطراف یا آب‌های زائد کشاورزی و یا جریان لب‌ریزی مجرا، به صورت تالاب‌ها و باتلاق‌هایی درآمده‌اند (شکل٤). شکل‌گیری دو مخروط‌افکنه انشعابی محمودآباد و کشاورز، علاوه بر ایجاد خاک‌های حاصلخیز، تاثیرات زیادی بر روند تحولات مورفولوژیکی مجرای رودخانه زرینه‌رود داشته و دارد. مخروط‌افکنه کشاورز (اجرلوچای) بزرگ‌ترین مخروط‌افکنه انشعابی در کل امتداد مجرای اصلی رودخانه زرینه‌رود است.



شکل۳ تراس واقع در تراز ۱۳۳٦ متری از سطح دریا (در ارتفاع حدود ٦ متری و فاصله ۱۱۰۰ متری نسبت به بستر فعلی رودخانه). این تراس را می‌توان به‌عنوان دومین سطح تراس منطقه در نظر گرفت.

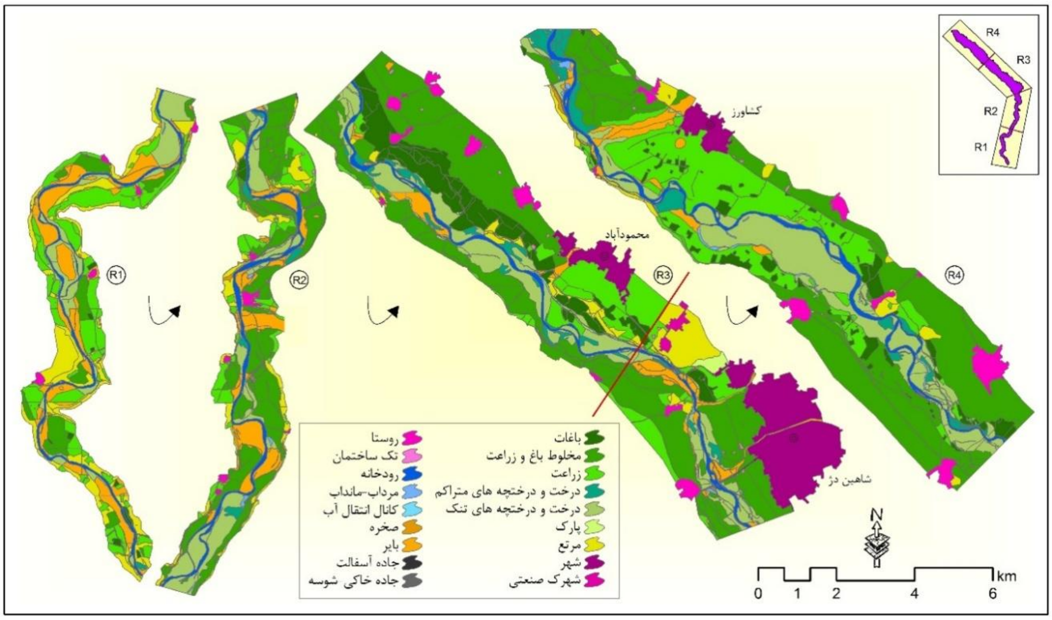


شکل٤ کانالی که در طی چند سال گذشته، متروک شده و متعاقب سیل مهر ۱۳۹۳ دارای آب شده است. رشد گیاهان آبزی آب‌های راکد و رسوب‌گذاری ناشی از این جریانات، به تدریج باعث پرشدن مجرا می‌شود.

بازه مورد مطالعه از مجرای رودخانه زرینه‌رود، با توجه به عرض دشت سیلابی، مواد تشکیل‌دهنده بستر و کناره‌ها و همچنین میزان تغییرات جانبی مجرا، می‌تواند به دو بازه فرعی تقسیم‌بندی شود: بازه (۱) که از ابتدای بازه مطالعاتی شروع و در حدفاصل شهرک صنعتی شاهین‌دژ و شهر محمودآباد خاتمه می‌یابد (R1،

1 Scrolls

R2 و قسمت بالادست R3 در شکل۵). مواد تشکیل‌دهنده بستر این بازه، عمدتاً از رسوبات با اندازه بزرگ‌تر از گراول یعنی قلوه‌سنگ‌ها و پاره‌سنگ‌ها می‌باشند. مواد کناره‌ها نیز، یا عمدتاً از گراول و قلوه‌سنگ تشکیل یافته، یا اینکه، درنتیجه مهاجرت خم‌های مئاندرها مستقیماً به واحد کوهستان برخورد کرده‌اند. در قسمت‌های زیادی، به علت انتقال و فقدان رسوبات ریزدانه، بستر آرمورینگ شده است. در این بازه، عرض دشت سیلابی، محدود بوده و پوشش زمین عمدتاً شامل زراعت، شن‌زار و درختان پراکنده بید می‌باشند (شکل۵).
بازه (۲) از بالادست محمودآباد شروع و تا بالادست سد نوروزلو امتداد می‌یابد. این بازه، نمونه مشخصی از رودخانه‌های با بستر گراولی است و رسوبات در حد ماسه در لابلای گراول‌ها به فراوانی قابل مشاهده است. افزایش عرض دشت سیلابی و دسترسی رودخانه به مواد فرسایش‌پذیر کناره‌ها، مخصوصاً رسوبات مخروط-افکنه‌های محمودآباد و کشاورز، باعث افزایش دینامیک عرضی رودخانه در این بازه شده است. زراعت و باغ‌داری، پراکندگی درختچه‌های گز (یولقون) و درختان بید، کاربری غالب این بازه می‌باشد.



شکل۵ کاربری اراضی دشت سیلابی زرینه‌رود (در بازه اول کاربری اراضی پایکوه‌ها نیز نشان داده شده است)

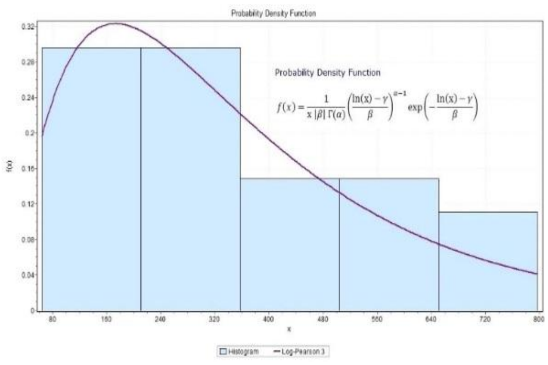
از نظر شکل مسطحاتی[1]، مجرای رودخانه از نوع مئاندری می‌باشد و فرم‌ها و فرایندهای رودخانه‌های مئاندری، مانند مهاجرت خم‌های مئاندر، ایجاد میان‌برها (به صورت گلوگاهی[2] و شوت[3])، تغییر مسیر مجرا[4]،

1 Planform
2 Neck
3 Chute
4 Avulsion

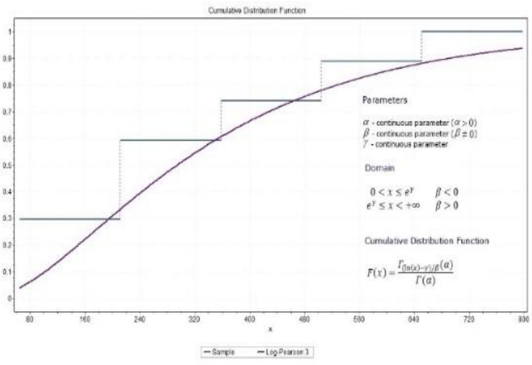
پشته‌های نقطه‌ای[1] (هم در داخل کانال و هم در کناره‌های محدب خم‌ها)، پشته‌های پیچشی و کانال‌های متروک، به روشنی و فراوانی دیده می‌شوند. مورفولوژی مجرای رودخانه زرینه رود، مخصوصاً در بازه (۲)، از نوع معمول حوضچه- خیزآب[2] است.

پهنه‌بندی سیلاب‌های رودخانه زرینه‌رود

برنامه‌ریزی و طراحی مؤثر پروژه‌های مدیریت ریسک سیلاب، نیازمند تخمین‌های دقیقی از ریسک سیلاب است (کمیته مطالعه فراوانی سیلاب رودخانه‌های آمریکا[3]، ۱۹۹۹: ۳۹). اساساً، تحلیل فراوانی سیلاب، شامل رابطه بین کمیت‌های سیلاب و احتمال وقوع و عدم وقوع آن‌هاست (دوره بازگشت) (اشلی[4] و همکاران، ۲۰۰۷: ۱۲۳). آژانس مدیریت اضطراری فدرال ایالات‌متحده (FEMA) برای وضع مقررات و آیین‌نامه‌های ساخت و ساز در نزدیکی رودخانه‌ها، سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله را مورد استفاده قرار می‌دهد (هیندمن و هیندمن، ۲۰۰۹: ۳۰٤). توابع توزیع و روش‌های تخمین مختلفی برای برآورد توزیع فراوانی سیلاب وجود دارند. روش‌های ارائه شده توسط سازمان‌های فدرال آمریکا براساس برازش یک توزیع پیرسون تیپ ۳ به لگاریتم‌های مبنای ۱۰ دبی‌های پیک است (کارگروه بین سازمانی فدرال بازسازی رودخانه[5]، ۲۰۰۱، فصل۷: ۵) که در این تحقیق نیز برای محاسبات از این روش استفاده شده است. میانگین دبی ماهانه، تابع توزیع تجمعی، تابع چگالی احتمال و برازش توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳ به دبی‌های پیک ایستگاه ساری‌قمیش (به‌عنوان مهم‌ترین ایستگاه) در شکل‌های (٦) تا (۹) نشان داده شده است. در جدول (۱)، دوره‌های بازگشت سیلاب‌ها محاسبه شده است.

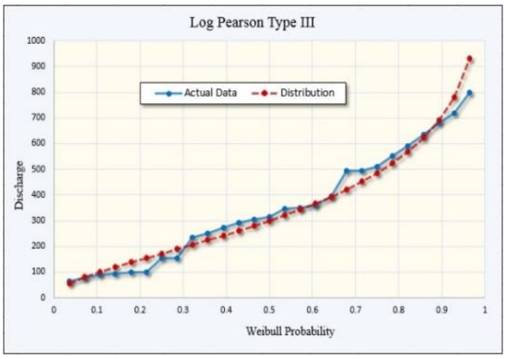


شکل٦ تابع چگالی احتمال دبی‌های پیک ا. ساریقمیش

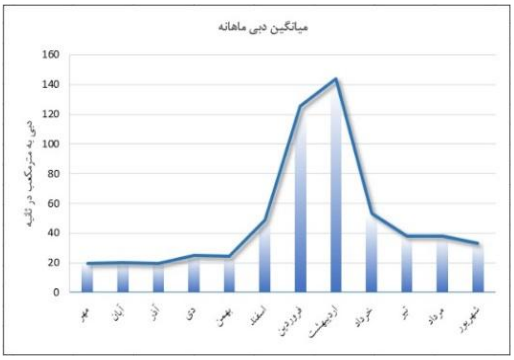


شکل۷ تابع توزیع تجمعی دبی‌های پیک ا. ساریقمیش

1 point bars
2 Pool-Riffle
3 Committee on American River Flood Frequencies
4 Ashley
5 The federal interagency stream restoration working group



شکل۸ برازش توزیع فراوانی پیرسون تیپ ۳ به لگاریتم‌های جریانات پیک سالیانه ا. ساریقمیش



شکل۹ میانگین دبی ماهانه ا. ساریقمیش

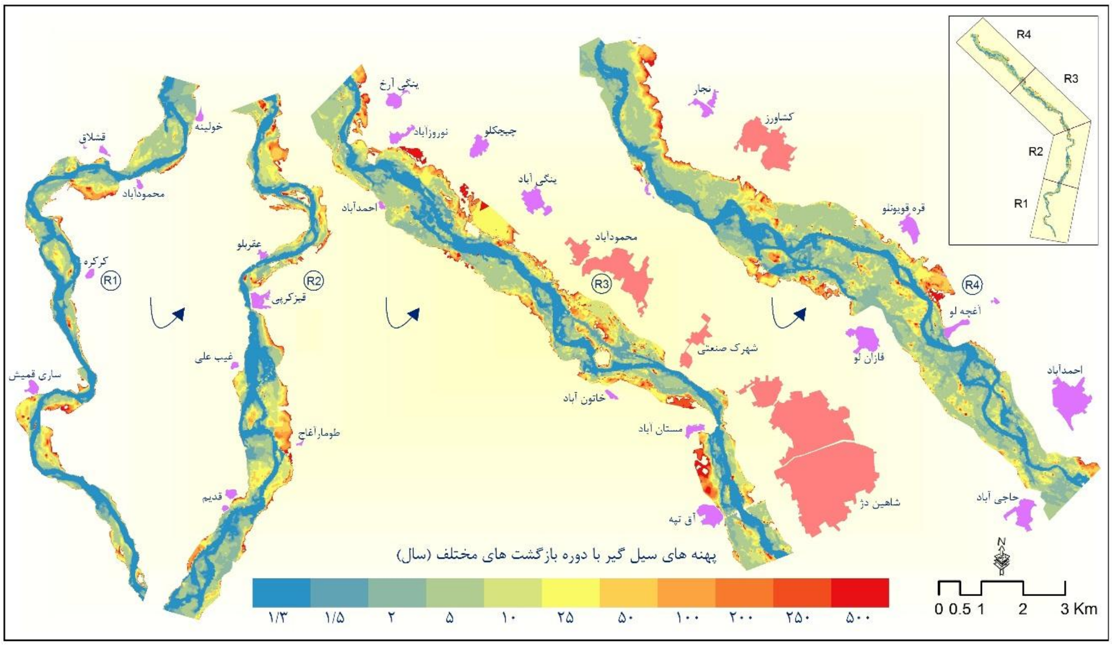
جدول۱ دبی پیک‌های سیلاب با دوره‌های بازگشت و احتمال وقوع مختلف با استفاده از توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳

دوره بازگشت	احتمال وقوع	ایستگاه	حداکثر دبی لحظه‌ای	ایستگاه	حداکثر دبی لحظه‌ای	ایستگاه	حداکثر دبی لحظه‌ای
۱/۳	۰/۲۵۵	ساری‌قمیش	۱۷٤/۱	قوره‌چای	۲۷/۲	جان‌آقا	۲۷/٤
۱/۵	۰/۳۲۵		۲۰۷/۹		۳۱/۹		۳۳/۳
۲	۰/۵۰۰		۲۹۹/٦		٤٤/۲		٤۸/۸
۳	۰/٦٦۷		٤۱۱/۱		۵۷/۸		٦٦/۵
۵	۰/۸۰۰		۵٤۰/٤		۷۲/۳		۸۵/٦
۱۰	۰/۹۰۰		۷۰٤/۸		۸۸/۸		۱۰۷/۲
۲۵	۰/۹٦۰		۹۰۷/٤		۱۰٦/۸		۱۳۰/۳
۵۰	۰/۹۸۰		۱۰۵۱/٦		۱۱۸/۲		۱٤٤/۵
۱۰۰	۰/۹۹۰		۱۱۸۸/۵		۱۲۸/۱		۱۵٦/۵
۲۰۰	۰/۹۹۵		۱۳۱۸/۸		۱۳٦/۷		۱٦٦/٤
۲۵۰	۰/۹۹٦		۱۳۵۹/۳		۱۳۹/۲		۱٦۹/۳
۵۰۰	۰/۹۹۸		۱٤۸۱/۱		۱٤٦/۳		۱۷۷/۲

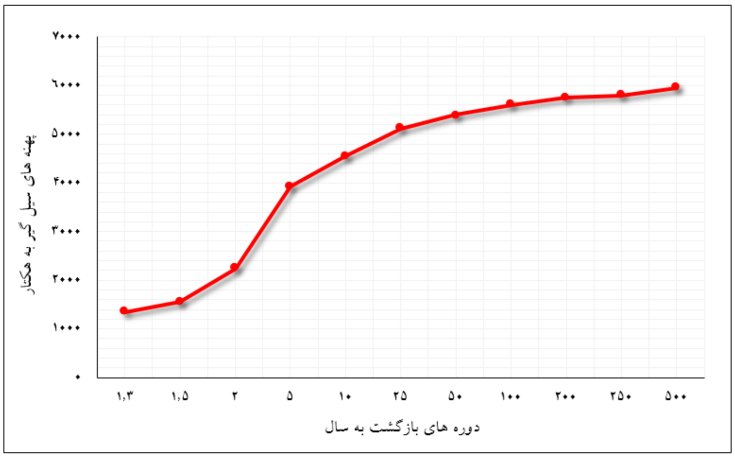
در شکل (۱۰)، پهنه‌های سیل‌گیر رودخانه زرینه‌رود و در شکل (۱۱)، مساحت محدوده‌های سیل‌گیر با دوره‌های بازگشت مختلف، به صورت تجمعی، نشان داده شده است. روند افزایش مساحت پهنه‌های سیل‌گیر

مربوط به سیلاب‌های تا دوره بازگشت ۲۵ ساله، دارای آهنگ نسبتاً سریعی است و سپس، این روند به‌طور محسوسی کاهش می‌یابد. با توجه به نقشه پهنه‌بندی سیلاب، می‌توان گفت که سیلاب‌ها در مکان‌یابی محل استقرار شهرها و روستاهای حاشیه رودخانه زرینه‌رود نقش عمده‌ای را ایفا کرده‌اند، بطوریکه، سیلابی بودن این رودخانه را می‌توان از دلایلی به شمار آورد که سکونتگاه‌ها به دور از مجرای رودخانه و در مجاورت پای‌کوه‌ها یا تراس‌های مشرف به دشت سیلابی استقرار یافته‌اند. سه شهر شاهین‌دژ، محمودآباد و کشاورز، به علت قرارگیری در ارتفاع بالاتر از بستر رودخانه (بیش از ۱۰ متر)، به‌طور کامل، مصون از سیلاب‌های رودخانه می‌باشند. با ذکر این نکته که، حداکثر عمق آب در عمیق‌ترین قسمت‌ها در امتداد مجرای رودخانه برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵۰۰ ساله به ۸ متر نمی‌رسد. با این حال، سیلاب‌های ناشی از مسیل‌ها و رودخانه‌های فصلی هاچه‌سو، آخچه، جوشاتوچای و اجرلوچای، که از انشعابات رودخانه زرینه‌رود می‌باشند، به صورت بالقوه، جزو مخاطرات طبیعی این شهرها مطرح می‌باشد. خطرات عمده سیلاب‌های رودخانه زرینه‌رود، متوجه اراضی کشاورزی و برخی از تاسیساتی است که در محدوده دشت سیلابی احداث شده‌اند. سیلاب‌ها می‌توانند خسارات قابل‌توجهی به اراضی کشاورزی حاشیه این رودخانه تحمیل کنند. به‌عنوان‌مثال، یک سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله، حدود ۱۷۱۳ هکتار از اراضی کشاورزی و باغات حاشیه رودخانه را دربرمی‌گیرد که می‌تواند منجر به تخریب گسترده اراضی و خسارات هنگفت شود.

ژئومورفولوژی منطقه، نقش قاطعی در میزان پخش سیلاب در حاشه رودخانه زرینه‌رود ایفا می‌کند. بطوریکه در بازه (۱)، به علت کم عرض بودن دشت سیلابی، پهنه‌های سیل‌گیر نیز محدود می‌باشد. در این بازه، یک سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله، تقریباً کل دشت سیلابی را فرامی‌گیرد و تنها قسمت‌هایی از برخی تراس‌ها و پشته‌های رسوبی موجود در دشت سیلابی غرقاب نمی‌شوند. در بازه (۲)، همزمان با افزایش عرض دشت سیلابی، بر پهنه‌های سیل‌گیر نیز افزوده می‌شود. در این بازه نیز، توپوگرافی محلی نقش زیادی در تعیین میزان سیل‌گیری حاشیه رودخانه دارد. بیشترین مساحت پهنه‌های سیل‌گیر در حد فاصل روستاهای قره‌قویونلو و قازان‌لو می‌باشد، بطوریکه، عرض پهنه سیل‌گیر برای یک سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله، در برخی قسمت‌ها به بیش از ۲/۳ کیلومتر می‌رسد. تأثیر مخروط‌افکنه رودخانه اجرلو بر کاهش مساحت سیل-گیر رودخانه زرینه‌رود در این محدوده به روشنی مشخص است و سطح مخروط‌افکنه به علت مورفولوژی محدب و برجسته، مصون از سیلاب‌های با دوره بازگشت‌های مختلف رودخانه زرینه‌رود شده است.



شکل ۱۰ پهنه‌های سیل‌گیر دشت سیلابی رودخانه زرینه رود (به صورت تجمعی) با دوره‌های بازگشت مختلف



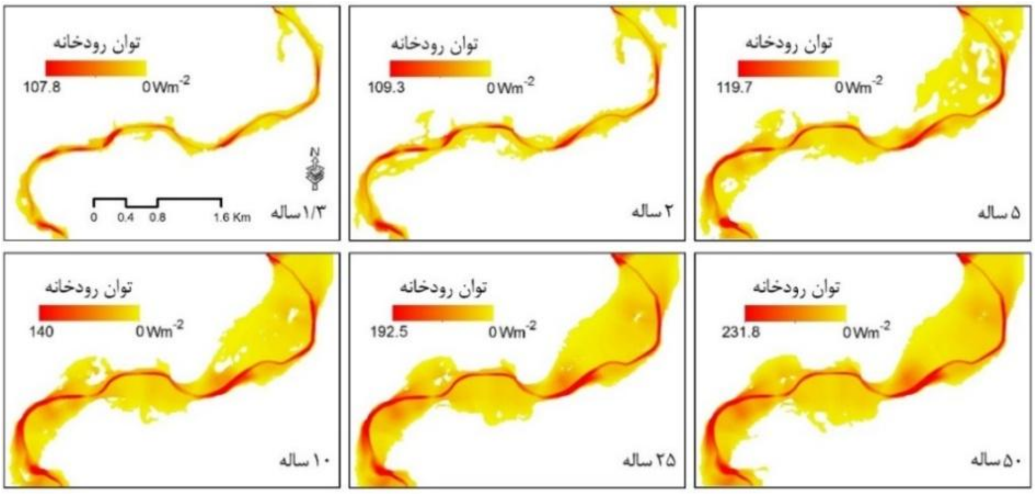
شکل ۱۱ نمودار تجمعی مساحت پهنه‌های سیل‌گیر برای دوره‌های بازگشت مختلف

اثرات مورفولوژیکی سیلاب‌ها

توانایی انجام کار ژئومورفیک رودخانه‌ها، معمولاً به‌عنوان توان رودخانه (SP) بیان می‌شود (بیزی و لرنر، ۲۰۱۵: ۲۷-۱۶). سیلاب‌ها، با افزایش قابل‌توجه توان رودخانه، نقش چشمگیری در تغییرات مورفولوژیکی مجرای رودخانه‌ها ایفا می‌کنند. به‌عنوان‌مثال، اگر یک سیلاب با دوره بازگشت ۱/۳۳ ساله به‌عنوان دبی لب-پری[1] رودخانه در نظرگرفته شود (این دبی به‌عنوان دبی شکل‌دهنده مجرای رودخانه زرینه‌رود درنظر گرفته

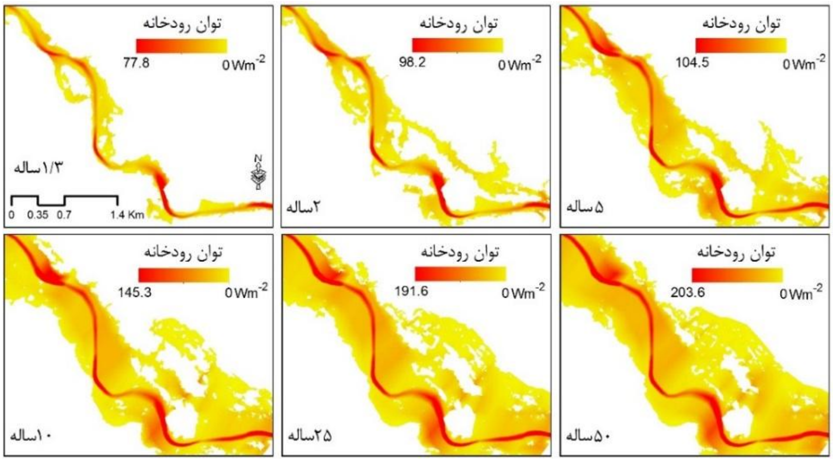
1 Bankfull

شد که به علت فراوانی تکرار، نقش زیادی در فرسایش کناره و مهاجرت خم‌های مئاندرها دارد)؛ توان رودخانه در حالت لب‌پری، افزایش محسوسی نسبت به دبی‌های معمول رودخانه نشان می‌دهد. در بازه مورد مطالعه، یک روند کاهشی در توان رودخانه از بالادست به سمت پایین دست دیده می‌شود (شکل‌های ۱۲ تا ١٤) که علت اصلی آن، کاهش شیب و ازاین‌رو کاهش سرعت و تنش برشی مجرا می‌باشد. در قسمت‌های مختلف مجرا، تغییرات بسیار زیادی در توان رودخانه دیده می‌شود. توان رودخانه، مخصوصاً در داخل حوضچه‌های[1] ناشی از آبشستگی خم مئاندرها، افزایش محسوسی نسبت به خیزآب‌ها[2] دارد (برای نمونه شکل۱۵). این امر نشان می‌دهد که مئاندرهای رودخانه به صورت بالقوه می‌توانند در دشت سیلابی مهاجرت کنند که در برخی از موارد، باعث مخاطراتی نیز می‌شوند. به احتمال زیاد، هنگامی که SP محلی، به‌طور قابل توجهی نسبت به SP بالادست خود بالاتر باشد، فرسایش غلبه یافته و در حالت عکس، نهشته‌گذاری اتفاق می‌افتد. با افزایش دوره بازگشت، به دلیل افزایش دبی رودخانه، بر میزان SP و درنتیجه توان تغییرات مورفولوژیکی افزوده می‌شود که اگر با شرایط محلی، مخصوصاً الگوی غالب رودخانه و فرسایش‌پذیری مواد بستر و کناره‌ها ترکیب شود، می‌توان به پتانسیل فرسایش و نهشته‌گذاری در قسمت‌های مختلف مجرا پی برد. به‌عنوان‌مثال، توان رودخانه نسبت به دبی لب‌پری، برای سیلاب‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۲۵ ساله، به ترتیب، حدود ۱۷/۸، ٦۲/۳، ۹۲/۳ و ۱۲۵/۲ درصد افزایش می‌یابد. علاوه بر این، با افزایش دوره‌های بازگشت (بیش از ۵ سال) بر میزان پخش سیلاب در پهنه دشت سیلابی نیز افزوده می‌شود و فرسایش دشت سیلابی ناشی از دبی لب‌ریزی و احتمال وقوع میان‌برها و تغییر مسیرها افزایش می‌یابد.

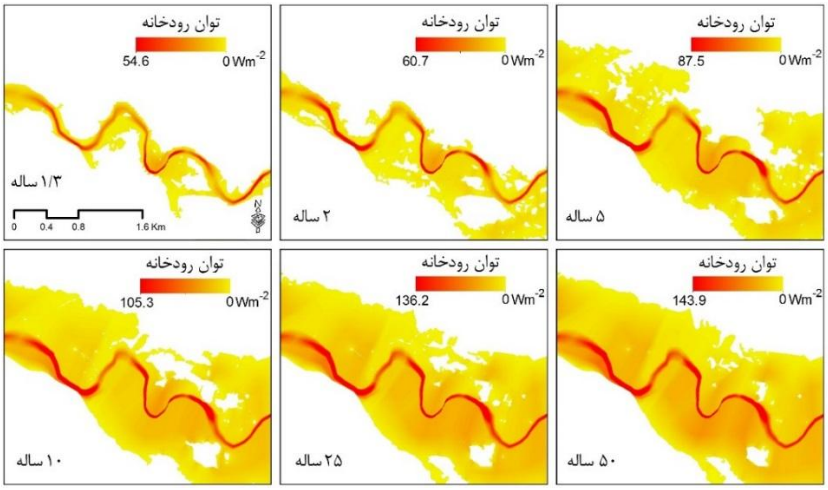


شکل۱۲ توان رودخانه در مجرا و دشت سیلابی رودخانه زرینه‌رود در بخشی از بازه (۱)

1 Pools
2 Riffles



شکل۱۳ توان رودخانه در مجرا و دشت سیلابی رودخانه زرینه‌رود در بخشی از بالادست بازه (۲)



شکل۱٤ توان رودخانه در مجرا و دشت سیلابی رودخانه زرینه‌رود در بخشی از پایین‌دست بازه (۲)

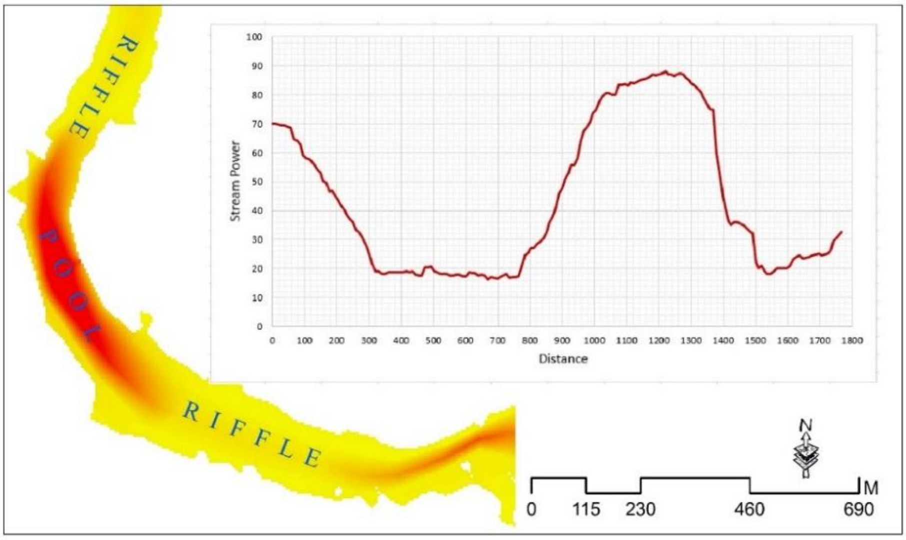
با اینکه، پتانسیل انجام کار ژئومورفیک توان رودخانه در بازه (۱)، مخصوصاً در داخل خم‌های مئاندرها، زیاد است؛ اما بستر رودخانه در بیشتر قسمت‌ها متشکل از آبرفت‌های در حد پاره‌سنگ[1] می‌باشد. درنتیجه، توان رودخانه از انجام کار ژئومورفیک محدودی برخوردار بوده و به علت مواجهه با یک بستر آرمورینگ، توانایی کف‌کنی آن اندک است. در مورد فرسایش کناره نیز همین شرایط صادق است، بطوریکه، کناره‌های رودخانه از نوع رسوبات درشت دانه است که اغلب به خوبی سیمانی شده‌اند و یا اینکه مجرای رودخانه، درنتیجه مهاجرت خم‌ها، مستقیماً به واحد کوهستان برخورد کرده است. واحد کوهستان عمدتاً شامل انواع

1 cobble

مختلف کنگلومراها و سنگ‌های آهکی است که به‌عنوان یک مانع عمده در تغییرات مجرا محسوب می‌شوند. به همین دلیل است که در این بازه، شواهد میان‌برهای گلوگاهی به ندرت به چشم می‌خورد. در داخل مجرا، پشته‌های رسوبی محدودی به چشم می‌خورد. این پشته‌ها تنها در کناره محدب خم‌های مئاندرها دیده می‌شوند که در طی سیلاب‌ها، به شدت دستکاری می‌شوند. می‌توان گفت که محدود بودن پشته‌های رسوبی، دلیلی بر حاکمیت فرایند انتقال رسوب و محدودیت نهشته‌گذاری در قسمت اعظم این بازه است. در واقع، رسوباتی که توسط شعبات مختلف رودخانه به این بازه وارد می‌شوند به دلیل توان زیاد رودخانه، به بازه پایین دست منتقل شده و فرایندهای فرسایش و نهشته‌گذاری محدود می‌باشند.

به محض اتمام بازه اول، تغییرات زیادی در عرض دشت سیلابی و به تبع آن، عرض پهنه‌های سیل‌گیر، مواد بستر، مواد کناره و دشت سیلابی دیده می‌شود. این بازه، می‌تواند به صورت نمونه مشخصی از رودخانه‌های با بستر گراولی محسوب شود. جنس کناره‌ها از رس و سیلت تا گراول متغیر است؛ اما، واحد کوهستان و تپه‌ها نیز در برخی قسمت‌ها بر روی مورفولوژی رودخانه تاثیرگذار بوده‌اند. در این بازه، هرچند توان رودخانه نسبت به بازه اول پایین‌تر است؛ اما در طی سیلاب‌ها افزایش چشمگیری می‌یابد. کناره‌های رودخانه، عمدتاً منطبق بر حاشیه مخروط‌افکنه‌های محمودآباد و کشاورز یا تراس‌های رودخانه‌ای است که عموماً لایه‌لایه بوده و ترکیبی از رس و سیلت تا گراول دارند؛ بنابراین، سیلاب‌ها نقش عمده‌ای در فرسایش کناره و جابجایی مجرا ایفا می‌کنند. بطوریکه، آثار فرسایش مربوط به سیلاب‌های لب‌پری و لب‌ریزی، به وفور در حاشیه رودخانه قابل مشاهده است (به‌عنوان‌مثال شکل‌های۱٦ تا ۱۹). در این بازه، عوارض فرسایشی و رسوبی به فراوانی در مجاورت هم دیده می‌شود که علت اصلی آن را می‌توان به تغییرات محلی توان رودخانه نسبت داد (شکل۱۵). وجود عوارض فرسایشی ازقبیل پرتگاه‌های فرسایشی و کناره‌های عمودی یا کناره‌های با برش زیرین، نشان‌دهنده فرایندهای فرسایش کناره هستند و نشانه‌ای از میزان جابجایی جانبی و مقدار رسوب جابجا شده به سمت پایین دست جریان می‌باشند. در این بازه، افزایش محسوس توان رودخانه در داخل خم‌های مئاندرها (شکل۱۵) با فرسایش‌پذیری زیاد کناره‌ها توأم شده و درنتیجه، فرسایش شدیدی در طی سیلاب‌ها اتفاق افتاده و حجم زیادی از رسوبات، وارد مجرای رودخانه می‌شوند. برعکس، در قسمت‌هایی که توان رودخانه کاهش می‌یابد، فرایند رسوب‌گذاری اتفاق می‌افتد. فراوانی پشته‌های نقطه‌ای، چه در داخل مجرا و چه در کناره محدب خم‌های مئاندر، گواه این است که در طی سیلاب‌ها، حجم زیادی از رسوبات وارد مجرا می‌شود که رودخانه توان جابجایی تمامی آن‌ها را ندارد. همچنانکه بیزی و لرنر (۲۰۱۵) بیان می‌دارند: برای رودخانه‌های با بستر گراولی، حضور گسترده پشته‌های گراولی بدون پوشش گیاهی نشان دهنده تأمین رسوب غنی از بالادست است، که تا حدی در بازه ذخیره شده و به‌طور مداوم توسط سیلاب‌های دوره‌ای دستکاری می‌شوند. درنتیجه، در قسمت‌هایی که توان رودخانه کاهش می‌یابد،

می‌توان شاهد نهشته‌گذاری حجم زیادی از رسوبات، همزمان و بعد از گذر موج سیلاب بود؛ بطوریکه، در برخی قسمت‌ها، مجرای رودخانه رفتار آستانه‌ای گذر به الگوی گیسوئی را نشان می‌دهد.



شکل۱۵ تغییرات محسوس توان رودخانه در یک مئاندر منفرد (برای یک سیلاب با دوره بازگشت ۱/۳۳ ساله) که پتانسل فرسایش و نهشته‌گذاری در مجرا را نشان می‌دهد.

علاوه بر این، در رابطه با سیلاب‌های با دوره بازگشت بیشتر از ۵ سال، پهنه سیل‌گیر رودخانه افزایش محسوسی می‌یابد. این امر، تأثیر زیادی بر دشت سیلابی (فرسایش و نهشته‌گذاری)، مخصوصاً در محدوده مخروط‌افکنه محمودآباد، می‌گذارد که دارای رسوبات بسیار حساس به فرسایش می‌باشند. این شرایط، منجر به دستکاری شدید دشت سیلابی در طی سیلاب‌های با دوره بازگشت بالاتر شده است (شکل۱۷). در محدوده این بازه، دو رودخانه فصلی جوشاتوچای و اجرلوچای (و مسیل‌های واقع در این محدوده) وارد رودخانه زرینه‌رود می‌شوند. یکی از تفاوت‌های عمده‌ای که حوضه‌های آبریز این رودخانه‌ها با سایر حوضه-های آبریز انشعابات رودخانه زرینه‌رود دارند، به فرسایش‌پذیری سازندها و فراوانی وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای به صورت زمین‌لغزش مربوط می‌شود. بطوریکه، وسعت برخی از زمین‌لغزش‌ها در این حوضه‌ها به بیش از یک هکتار می‌رسد. ارقام شگفت‌انگیز آوردهای رسوبی سیلاب‌های این حوضه‌ها را می‌توان به این امر نسبت داد (آورد رسوبی ۲٤۷۳۹ تن در روز برای یک سیلاب با دبی ۸۷ مترمکعب در ثانیه در سال ۱۳۸٤، آورد رسوبی ۱۰٤٦۹ تن در روز برای یک سیلاب با دبی ۵۰/۳ مترمکعب در ثانیه در سال ۱۳۸۵، آورد رسوبی ٤۲۸۳٤ تن در روز برای یک سیلاب با دبی ۸۳/۷ مترمکعب در ثانیه در سال ۱۳۹۰ برای رودخانه اجرلو در ایستگاه جان‌آقا را می‌توان به‌عنوان نمونه ذکر کرد). همین امر در ساختار مخروط افکنه‌ها نیز انعکاس یافته است. در این بازه، علاوه بر میان‌برهای گلوگاهی، میان‌برهای شوت (میان‌پشته‌ای) نیز به فراوانی

قابل مشاهده است که از نشانه‌های ناپایداری مجرای رودخانه می‌باشند. مطمئناً، سیلاب‌هایی که توان پخش بر روی پشته‌ها و حاشیه رودخانه را دارند، در ایجاد این گونه میان‌برها نقش قطعی و اصلی را دارند.



شکل۱۶ سیلاب‌های لب‌پری و لب‌ریزی باعث فرسایش شدید کناره‌های فرسایش‌پذیر می‌شوند



شکل۱۷ فرسایش شدید دشت سیلابی در اطراف محمودآباد



شکل۱۸ فرسایش کناره ناشی از سیلاب مهرماه سال ۱۳۹۳



شکل۱۹ تخریب اراضی کشاورزی درنتیجه فرسایش کناره

٤. نتیجه‌گیری

در این تحقیق، بخشی از دشت سیلابی رودخانه زرینه‌رود از نظر رخداد سیلاب‌های با دوره‌های بازگشت مختلف پهنه‌بندی گردید. از نظر ژئومورفولوژی، رودخانه‌ها را می‌توان به‌عنوان ماشین‌های انتقال رسوب درنظر گرفت که نیروی محرکه آن، توان رودخانه می‌باشد. سیلاب‌ها با افزایش چشمگیر توان رودخانه، نقش مهمی در فرایندهای تأمین، انتقال و نهشته‌گذاری رسوبات برعهده دارند. با توجه به اینکه کارایی توان رودخانه به‌عنوان شاخص مؤثری جهت بررسی حساسیت مجرای رودخانه‌ها نسبت به فرایندهای فرسایش و رسوب‌گذاری سیلاب‌ها توسط محققان مختلف ازقبیل بیزی و لرنر (۲۰۱۵) و سونگ و همکاران (۲۰١٤) تأیید شده است؛ در تحقیق حاضر، ترکیب این شاخص با فرسایش‌پذیری مواد کناره‌ها تا حد زیادی روند

تغییرات عرضی مجرای رودخانه زرینه را نشان می‌دهد. در بازه بالادست رودخانه زرینه‌رود، با اینکه توان رودخانه در طی سیلاب‌ها زیاد است؛ اما، به علت فرسایش‌پذیری اندک مواد کناره و آرمورینگ بستر مجرا، از توان شکل‌زایی چندانی برخوردار نیست و فرایند غالب، انتقال رسوب و در مقیاس محدودتر، فرسایش و نهشته‌گذاری است؛ اما در بازه دوم، علاوه بر افزایش پهنه‌های سیل‌گیر دشت سیلابی، به دلیل فرسایش‌پذیری کناره‌ها، دینامیک عرضی مجرا زیاد می‌باشد. الگوی رودخانه در این بازه از نوع مئاندری آزاد بوده و درنتیجه، توان رودخانه در طی سیلاب‌ها و همچنین دبی معمول رودخانه به تناوب کم و زیاد می‌شود. در طی موج سیلاب، علاوه بر رسوبات بازه بالادست، فرسایش شدید کناره‌های خارجی خم‌های مئاندرها، حجم زیادی از رسوبات را وارد مجرای رودخانه می‌کند که توأم می‌شود با نهشته‌گذاری شدید در قسمت‌هایی که توان رودخانه اندک است. بیزی و لرنر (۲۰۱۵) و بیزی و همکاران (۲۰۰۹)، چنین شرایطی را تعادل ناپایدار نامیدند؛ یعنی شرایطی که در یک مجرای رودخانه، عوارض فرسایشی گسترده همراه با عوارض رسوبی گسترده حضور دارند. چنین کانال‌هایی بواسطه تحرک جانبی بالا مشخص می‌شوند که نمونه‌ای از رودخانه-های مئاندری آزاد می‌باشند. آوردهای زیاد بار رسوبی رودخانه‌های فصلی جوشاتوچای و اجرلوچای و مسیل‌های بین این دو حوضه نیز حجم رسوب را در طی سیلاب‌ها به صورت ناگهانی افزایش می‌دهد و منجر به یک نوع رفتار آستانه‌ای (گذر از الگوی مئاندری به گیسوئی) محلی می‌شود.

نتایج پهنه‌بندی سیلاب حاکی از این است که شهرها و روستاهای پیرامون رودخانه، تقریباً به‌طور کامل، مصون از سیلاب‌های رودخانه زرینه می‌باشند. دلیل اصلی آن به استقرار سکونتگاه‌ها در پایکوه‌ها یا تراس‌های مرتفع حاشیه رودخانه مربوط می‌شود؛ اما با توجه به اینکه دشت سیلابی به صورت متراکمی به فعالیت‌های کشاورزی اختصاص یافته است؛ وقوع سیلاب می‌تواند خسارات هنگفتی را موجب شود. بطوریکه، مثلاً نزدیک به ۱۷۱۳ هکتار از اراضی کشاورزی حاشیه رودخانه در معرض یک سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله می‌باشد. در قسمت‌هایی نیز، سیلاب‌ها باعث تشدید چشمگیر فرسایش کناره شده و اراضی مرغوب کشاورزی را تخریب می‌کند. به‌عنوان‌مثال می‌توان به فرسایش کناره شدید ناشی از سیلاب مهرماه ۱۳۹۳ اشاره کرد. لذا، اتخاذ اقداماتی در جهت کاهش خسارات سیل و جلوگیری از فرسایش شدید کناره ضرورت می‌یابد.

کتابنامه

دانشفراز، رسول و منازاده، مریم؛ ۱۳۹۱. مروری بر هیدرولیک جریان با سطوح آزاد با حل مسائل در برنامه Matlab. چاپ اول. مراغه: انتشارات دانشگاه مراغه.

رضوی، احمد؛ ۱۳۸۷. اصول تعیین حریم منابع آب. چاپ اول، تهران: انتشارات دانشگاه صنعت آب و برق.

غفاری، گلاله و امینی، عطااله؛ ۱۳۸۹. مدیریت دشت‌های سیلابی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) (مطالعه موردی رودخانه قزل اوزن). فصلنامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی. شماره ۳۲. صص ۱۳٤-۱۱۷.

قمی اویلی، فرشته؛ صادقیان، محمدصادق؛ جاوید، امیرحسین و میرباقری، سیداحمد؛ ۱۳۸۹. شبیه‌سازی پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل HEC-RAS. فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی. سال شماره ۱. صص ۱۱۵– ۱۰۵.

ولیزاده کامران، خلیل؛ ۱۳۸٦. کاربرد GIS در پهنه بندی خطر سیلاب (مطالعه موردی: حوضه رود لیقوان). مجله فضای جغرافیایی. شماره ۲۰. صص ۱٦۹–۱۵۳.

یمانی، مجتبی؛ تورانی، مریم و چزغه، سمیرا؛ ۱۳۹۱. تعیین پهنه‌های سیل‌گیر با استفاده از مدل HEC-RAS (مطالعه موردی: بالادست سد طالقان از پل گلینک تا پل وشته). مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره ۱. صص ۱٦–۱.

Ashley, R., Garvin, S., Pasche, E., Vassilopoulos, A., & Zevenbergen, C. (2007). *Advances in Urban Flood Management*. London: Taylor & Francis Group.

Barker, D.M., Lawler, D.M., Knight, D.W., Morris, D.G., Davies, H.N., & Stewart, E.J. (2009). Longitudinal distributions of river flood power: The combined automated flood, elevation and stream power (CAFES) methodology. *Earth Surface Processes and Landforms, 34*(2), 280-290.

Bizzi, S., & Lerner, D.N. (2015). The use of stream power as an indicator of channel sensitivity to erosion and deposition processes. *River Research and Applications, 31*, 16-27.

Bizzi, S., Harrison, R.F., & Lerner, D.N. (2009). *The growing hierarchical self-organizing map (GHSOM) for analysing multi-dimensional stream habitat datasets*. Proceedings of 18th World IMACS Congress and MODSIM09 International Congress on Modelling and Simulation. Cairns, Australia, 734–740.

Cameron, T., & Ackerman, P.E. (2012). HEC-GeoRAS, GIS tools for support of HEC-RAS using ArcGIS®10. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.

Committee on American River Flood Frequencies, National Research Council. (1999). Improving American river flood frequency analyses. :Washington, D.C. Academy Press.

Committee on Flood Control Alternatives in the American River Basin, National Research Council. (1995). *Flood risk management and the American river basin: An evaluation*. Washington, D.C.: National Academy Press.

Committee on Risk-Based Analysis for Flood Damage Reduction, Water Science and Technology Board, National Research Council. (2000). *Risk analysis and uncertainty in flood damage reduction studies*. Washington, D.C.: National Academy Press.

Gichamo, T.Z., Popescu, I., Jonoski, A., & Solomatine, D. (2012). River cross-section extraction from the ASTER global DEM for flood modeling. *Environmental Modelling & Software, 31*, 37-46.

HEC (Hydrologic Engineering Center). (2010). *HEC-RAS river analysis system, hydraulic reference manual*. U. S. Army Corps of Engineers.

Hyndman, D., & Hyndman, D. (2009). *Natural hazards and disasters*. Belmont, Australia : Brooks/Cole, Cengage Learning.

Knebl, M.R., Yang, Z.L., Hutchison, K., & Maidment, D.R. (2005). Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: A case study for

the San Antonio river basin summer 2002 storm event. *Journal of Environmental Management, 75*, 325–336.

Machado, S.M., & Ahmad, S. (2007). Flood hazard assessment of Atrato River in Colombia. *Water Resources management, 21*(3), 591-609.

Merwade, V.M. (2004). *Geospatial description of river channels in three dimensions*. Doctoral dissertation, The University of Texas at Austin.

Montgomery, D.R., & Buffington, J.M. (1997). Channel reach morphology in mountain drainage basins. Geological Society of America Bulletin, *109*(5), 596-611.

Natural Resources Conservation Service. (2008). Stream restoration design (National Engineering Handbook 654). United States Department Agriculture.

Onusluel Gul, G., Harmancıoglu, N., & Gul, A. (2010). A combined hydrologic and hydraulic modeling approach for testing efficiency of structural flood control measures. *Natural Hazards, 54* (2), 245-260.

Patro, S., Chatterjee, C., Singh, R., & Singh Raghuwanshi, N. (2009). Hydrodynamic modelling of a large flood-prone river system in India with limited data. *Hydrological Processes, 23*, 2774-2791.

Proverbs, D.G., & Soetanto, R. (2004). Flood damaged property: A guide to repair. Oxford, UK : Blackwell Publishing.

Ramachandra Rao, A., & Hamed, K.H. (2000). Flood frequency analysis. CRC Press.

Sene, K. (2008). Flood warning, forecasting and emergency response. New York: Springer.

Song, S., Schmalz, B., & Fohrer, N. (2014). Simulation and comparison of stream power in-channel and on the floodplain in a German lowland area. *Journal of Hydrology Hydromechanics, 62*(2), 133–144.

Tate, E. (1999). *Floodplain mapping using HEC-RAS and ArcView GIS*. M.S.E thesis, The University of Texas at Austin.

The Federal Interagency Stream Restoration Working Group. (2001). *Stream corridor restoration: principles, processes, and practices*. Natinal Engineering Handbook, USDA-Natural Reources Conservation Service: USA

Valizadeh Kamran, K.H. (2007). Application of GIS in flood hazard zonation (Case study: Lighvan drainage basin). *Journal of Geographical Space, 20*, 153-169.

Wohl, E.E. (2000). *Inland flood hazards: human, riparian, and aquatic communities*. Cambridge: Cambridge University Press.

Yamani, M., Toorani, M., & Chezghe, S. (2012). Detemination of the flooding zones by using HEC-RAS model (Case study: upstream the Taleghan dam). *Journal of Geography and Environmental Hazards, 1*, 1-16.

Yang, J., Townsend, R.D., & Daneshfar, B. (2006). Applying the HEC-RAS model and GIS techniques in river network floodplain delineation. *Canadian Journal of Civil Engineering, 33*(1), 19-28.